Espècies invasores a les Illes Balears: aplicacions de biomarcadors d'estrés oxidatiu en organismes marins en situacions d'invasió

Antonio BOX, Antoni SUREDA i Salud DEUDERO

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA NATURAL DE LES BALEARS

Box, A., Sureda, A. i Deudero, S. 2008. Espècies invasores a les Illes Balears: aplicacions de biomarcadors d'estrés oxidatiu en organismes marins en situacions d'invasió. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 51: 177-186. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

L'aplicació de biomarcadors d'estrés oxidatiu ha demostrat el seu potencial com a eina per interpretar com afecten les espècies de macroalgues invasores del gènere *Caulerpa* i *Lophocladia lallemandii* a diferents espècies marines. Les espècies invasores de macroalgues poden recobrir àmplies zones de fons marins canviant totalment la seva estructura. A més de canviar l'estructura de l'ecosistema poden recobrir els organismes sèssils reduint en el cas dels organismes filtradors la seva capacitat de filtració i en algues i fanerògames marines la superfície fotosintètica. A més d'aquestes alteracions estructurals, posseeixen substàncies amb capacitats citotòxiques que les defensen tant dels herbívors com de possibles epífits. En un recull de treballs científics s'ha demostrat la utilitat dels enzims antioxidants i d'altres marcadors d'estrés oxidatiu com a eina per interpretar els efectes fisiològics d'aquestes espècies invasores en espècies mediterrànies.
Paraules clau: *enzims antioxidants, Caulerpa, Lophocladia lallemandii, marcadors d'estrés oxidatiu, peroxidació lipídica, Posidonia oceanica.*

INVASIVE SPECIES IN BALEARIC ISLANDS: USE OF ANTIOXIDANT BIOMARKERS IN MARINE ORGANISMS IN INVASIVE EVENTS. The use of antioxidant defences biomarkers have demonstrated its potential as useful tool to understand the effects of invasive species belonging to genus *Caulerpa* and *Lophocladia lallemandii* over some local marine species. Nowadays, invasive macroalgae are colonising all kind of substrates covering important areas changing habitats structure. Another effect of invasive species it is its capacity of cover completely filters feeders reducing its filtering capacity or to cover another macroalgaes or seagrass decreasing its photosynthetic capacity. The studied invasive macroalgaes also contains secondary metabolites with citotoxic properties to reduce the herbivores pressure and the presence of epiphytes over its structures. The present work presents a review of some scientific paper which analysed the physiological effects of invasive species over Mediterranean species applying biomarkers.
Keywords: *antioxidant enzymes, Caulerpa, Lophocladia lallemandii, antioxidant stress biomarkers, lipid peroxidation, Posidonia oceanica.*

Antonio BOX i Salud DEUDERO, Laboratori de Biologia Marina. Edifici Guillem Colom. Universidad Islas Baleares. Ctra Valldemossa Km 7.5 E-07122- Palma de Mallorca. Illes Balears, Spain. E-mail: toni.box@uib.es E-mail: salud.deudero@uib.es; Antoni SUREDA: Laboratori de Ciències de l'Activitat Física, Departament de Biologia Fonamental i Ciències de la Salut, Universitat de les Illes Balears, Crtra. Valldemossa Km 7.5.E-07122-Palma de Mallorca, Illes Balears, Spain. E-Mail: tosugo@hotmail.com

Recepció del manuscrit: 18-nov-08; revisió acceptada: 30-des-08.

Introducció

Espècies d'algues invasores a les Balears

L'augment del transport marítim, l'aqüicultura i el comerç d'espècies d'aquariofília són algunes causes responsables de la introducció d'espècies en els ecosistemes marins la qual cosa pot tenir efectes molt negatius damunt la biodiversitat, alterant l'estructura i funcionament dels ecosistemes envaïts (Boudouresque i Verlaque, 2002).

Algunes de les espècies invasores que podem trobar a les Illes Balears són les algues caulerpals *Caulerpa taxifolia* (Vahl) i *Caulerpa racemosa* (Forssk) J. Agardh, *Lophocladia lallemandii* (Montagne), *Acrothamnion preissi* (Sonder), *Asparagopsis taxiformis* (Delile) i *Womerleyella setacea* (Hollemberg), entre d'altres.

En el present treball s'analitza l'efecte de les algues invasores *Caulerpa taxifolia, C. racemosa* i *Lophocladia lallemandii* sobre la fauna bentònica. *C. taxifolia* va ser introduïda al mar mediterrani des de l'aquari de Mònaco l'any 1984 durant el procés de manteniment i neteja d'aquests (Meinesz i Hesse, 1991; Meinesz i Boudouresque, 1996). A l'illa de Mallorca va ser detectada per primera vegada l'any 1992 a Cala d'Or (Pou *et al.*, 1993), on continua present, però sense ocupar grans extensions. Al contrari que *C. taxifolia*, *C. racemosa*, detectada per primera vegada a la Badia de Palma l'any 1997 (Ballesteros *et al.*, 1999), està present per tot el litoral Balear colonitzant grans superfícies.

Lophocladia lallemandii va se observada per primera vegada a l'Illa d'Eivissa (Patzner, 1998), i ràpidament s'ha estès per les costes Balears colonitzant tot tipus de substrat. Aquesta alga actua com un epífit creixent damunt altres algues (Box *et al.*, 2008c), fanerògames marines (Sureda *et al.*, 2008b) i bivalves (Box *et al.*, 2008a).

Defenses químiques de les algues

En molts de casos aquestes algues invasores presenten metabòlits secundaris amb funció defensiva que tenen com objectiu protegir a l'alga tant de l'herbivoria com de l'epifitisme d'altres algues. En el cas de les caulerpals, un d'aquest compostos és la caulerpenina, principal metabòlit secundari de defensa. Aquest compost ha demostrat tenir propietats citotòxiques sobre els eriçons i cultius cel·lulars (Pedrotti *et al.*, 1996; Pesando *et al.*, 1996; 1998). *Lophocladia lallemandii* també posseeix substàncies químiques defensives com són les lophocladines que també posseeixen propietats citotòxiques (Gross *et al.*, 2006).

Espècies reactives d'oxigen i peroxidació lipídica

El metabolisme cel·lular en condicions normals és una font contínua d'espècies reactives d'oxigen que se produeixen per processos cel·lulars com és la pròpia respiració. Aquestes espècies reactives si no són eliminades poden afectar a components cel·lulars com són els lípids, proteïnes i ADN. Per això les cèl·lules posseeixen un complex sistema de defenses antioxidants que eliminen, prevenen la formació d'espècies reactives d'oxigen. Aquestes defenses antioxidants també poden reparar i eliminar les molècules afectades per les espècies reactives d'oxigen (Elias *et al.*, 1999). Les defenses antioxidants inclouen enzims com la superòxid dismutasa (SOD), glutatió reductasa (GR), glutatió peroxidasa (GPx) i catalasa (CAT). Tots aquest enzims antioxidants actuen eliminant les espècies reactives d'oxigen, però hi ha casos en que el sistema antioxidant es veu superat per la

presència de substàncies prooxidants, en d'estrès oxidatiu. A més a més de les espècies reactives d'oxigen, les substàncies tòxiques com poden ser els metabòlits secundaris d'algues, poden ser causa de la generació d'espècies reactives (Livingstone, 2001; Uchimura *et al.,* 1999). A part dels enzims antioxidants que eliminen espècies reactives d'oxigen, hi ha enzimes detoxificadores, com són els enzims glutation-s-transferasa (GST) i eritiosulfin (EROD), que augmenten en els organismes quan s'ingereixen compostos tòxics o estan presents a l'ambient.

Quan el sistema antioxidant ha estat superat per les espècies reactives, apareixen processos de dany cel·lular que poden ser mesurats per marcadors de peroxidació lipídica amb els marcadors malondial-dehido (MDA) i 4-Hidroxinnenol (4-HNE). En els casos de peroxidació lipídica més greus, ens podem trobar fins i tot amb la mort cel·lular, per tant és molt important per a l'organisme evitar i contrarestar les molècules prooxidants.

Introducció a l'aplicació dels enzims antioxidant en situacions d'invasió per macroalgues

El nombre d'espècies invasores detectades a les Illes Balears augmenta any darrera any i en molts casos, aquestes espècies constitueixen un canvi en l'hàbitat (Box, 2008). Els metabòlits secundaris de les algues invasores acostumen a tenir una elevada toxicitat i aquesta toxicitat suposa un increment de les espècies reactives en aquells organismes que es troben en hàbitat envaïts o s'alimenten de aquestes espècies. L'estudi dels efectes de les espècies invasores damunt la fauna es pot avaluar amb metodologies clàssiques com són els treballs de llistats faunístics i diversitat aquest casos en trobem en una situació d'espècies o es pot abordar amb noves metodologies com és l'ús dels biomarcadors d'estrès oxidatiu. En el present treball es presenta un recull d'estudis per demostrar l'aplicabilitat d'aquestes tècniques per a l'estudi de les iteracions de les espècies invasores i la fauna marina dels fons litorals de les Balears.

Efectes de *Caulerpa taxifolia* sobre el gasteròpode *Bittium reticulatum* i el peix *Coris julis*

El gasteròpode *Bittium reticulatum* és un habitant de tot tipus d'hàbitats de la zona infralitoral. Es tracta d'un organisme herbívor-detritívor que presenta elevades abundàncies a les àrees envaïdes per *Caulerpa* spp. (Box, 2008). Experimentalment s'ha demostrat que és capaç d'alimentar-se de *Caulerpa taxifolia* (Sureda *et al.*, 2008a).

Per altra banda, *Coris julis* està també adaptat a viure en zones envaïdes per *Caulerpa* on desenvolupa coloracions més verdoses com adaptació a l'hàbitat (Francour, 1997). Malgrat aquesta espècie no s'alimenta directament de *Caulerpa* viu dins la praderia, per tant, es veu directament afectada per la caulerpenina que hi ha a la zona afectada (Amade *et al.*, 1994).

Ambdues espècies al viure dins àrees envaïdes per *Caulerpa* es veuen directament exposades a la caulerpenina, ja sigui per la seva ingesta directa, per la ingesta d'organismes que s'alimenten de *Caulerpa* i/o per la caulerpenina ambiental. Tant el gasteròpode com el peix desenvolupen una resposta similar, incrementen els mecanismes detoxificadors, com són els enzims antioxidants, en un grau suficient per evitar el dany oxidatiu a



Fig. 1. Imatge de fronde de *Caulerpa taxifolia* epifitats per *Lophocladia lallemandii.*
Fig. 1. Caulerpa taxifolia *fronds epiphytized by* Lophocladia lallemandii.

biomolècules (Sureda et al., 2008a; Sureda et al., 2006). En tot dos organismes es dóna un increment dels enzims que fan servir el glutatió per eliminar les espècies reactives (enzims GPx, GR i GST) el que significa una eliminació efectiva d’aquestes espècies reactives evitant la formació d'hidròxids lipídics.

En el cas de la doncella, *Coris julis*, la seva adaptació en la coloració a zones envaïdes amb *Caulerpa* i el fet que incrementi suficientment les seves defenses antioxidants sense sofrir peroxidació lipídica fa pensar en el fet que aquesta espècie pot viure en zones envaïdes sense veure’s afectada negativament.

Bittium reticulatum és una espècie generalista que no veu reduïdes les seves abundàncies en hàbitats envaïts o colonitzats per *Caulerpa* (Box, 2008; Box *et al.*, 2008b). La resposta antioxidant observada té com significat que fisiològicament aquest gasteròpode incrementa eficaçment les seves defenses antioxidants en ingerir i/o viure dins àrees amb *Caulerpa* sense sofrir peroxidació lipídica.

Tot dos resultats confirmen que aquesta espècie generalista pot alimentar-se de *Caulerpa* (Sureda *et al.*, 2008a) i per tant per aquest gasteròpode pot viure dins zones envaïdes.



Fig. 2. Imatge de fulles de *Posidonia oceanica* epifitades per *Lophocladia lallemandii.*
Fig. 2. Posidonia oceanica *leaves epiphytized by invasive* Lophocladia lallemandii.

Iteracions entre macroalgues i/o fanerògames

Les àrees amb presència de *Caulerpa taxifolia* han estat recentment envaïdes per *Lophocladia lallemandii*. Aquesta segona macroalga és capaç de créixer sobre els frondes de *Caulerpa taxifolia* (Fig. 1). En aquest cas, els frondes són més curts i petits, amb una aparença molt diferent als que no estan epifitats. Aquesta segona invasora, *L. lallemandii*, també mostra un caràcter molt agressiu creixent damunt les fulles de *Posidonia oceanica* (Fig. 2). En tots dos casos *L. lallemandii* redueix tant la llum que arriba a les cèl·lules fotosintètiques, com redueix el flux d'aigua, d'oxigen i nutrients al voltant de l'alga o planta. En tots dos casos l'aplicació dels biomarcadors d'estrés oxidatiu han demostrat la seva utilitat com a mecanisme per entendre aquesta iteració (Box *et al.*, 2008c; Sureda *et al.*, 2008b).

Al créixer *Lophocladia lallemandii* com epífit, genera una resposta antioxidant tant a *Caulerpa taxifolia* (incrementa enzims SOD i CAT) (Box *et al.*, 2008c) com a *Posidonia oceanica* (incrementa CAT, GPx i SOD) (Sureda *et al.*, 2008b). Aquesta resposta pot tenir vàries causes, com l'alteració de la massa d'aigua que envolta els frondes o fulles, com la resposta



Fig. 3. Pinna nobilis completament epifitada per *Lophocladia lallemandii* i *Caulerpa racemosa*.
Fig. 3. *Pinna nobilis fan-mussel completely covered by invasive* Lophocladia lallemandii *and* Caulerpa racemosa.

a l'increment de H_2O_2 que pot tenir l'alga/planta com defensa contra els epífits (Choo *et al.,* 2004) i/o l'efecte de les lophocladines com substància tòxica. En tots dos casos l'increment de defenses tots dos casos l'increment de defenses anti-oxidants no és suficient per contrarestar la presència de molècules prooxidants i tant *Caulerpa taxifolia* com *Posidonia oceanica* pateixen processos de peroxidació lipídica (Box *et al.,* 2008c; Sureda *et al.,* 2008b).

En el cas de l'epifitisme de *Lophocladia lallemandii* sobre *Posidonia oceanica* hi ha un treball previ que conclou que aquest epifitisme té un efecte perjudicial sobre la fanerògama que redueix la seva densitat de feixos a les zones epifitades (Ballesteros *et al.,* 2007).

Epifitisme de *Lophocladia lallemandii* sobre la nacra (*Pinna nobilis*)

Lophocladia lallemandii és un epífit molt agressiu capaç de créixer damunt gran varietat de substrats. Els substrats on creix poden ser altres macroalgues o altres organismes vius com és l'espècie protegida *Pinna nobilis* (Fig. 3). Durant el període de màximes biomasses, *Lophocladia lallemandii* és capaç de créixer damunt les valves de la nacra de tal manera que



Fig. 4. Contingut estomacal de *Spondyliosoma cantharus* amb *Caulerpa racemosa*.
Fig. 4. *Stomach content of* Spondyliosoma cantharus *containing* Caulerpa racemosa.

l'obertura entre les valves queda obstruïda per la biomassa algal. Tot això fa que la capacitat filtradora de la nacra i la circulació d'aigua al seu voltant quedi reduïda. Hi ha treballs previs que demostren que gran part de la dieta de la nacra està composada per algues epífites de posidònia (Kennedy *et al.*, 2001). Aquest fet es tradueix, en la situació d'invasió de *Lophocladia lallemandii*, en una ingesta accidental de fragments d'aquesta macroalga filamentosa i molt fràgil, que suposa un consum per part de la nacra de toxines com la lophocladina.

Els biomarcadors mesurats en aquesta situació d'invasió mostren com els individus epifitats mostren un increment dels enzims antioxidants (CAT i GST) que tenen com objectiu reduir la presència d'espècies reactives (Box *et al.*, 2008a). Malgrat aquesta activació enzimàtica, hi ha peroxidació lipídica, fet que vol dir que les nacres quan estan recobertes per *Lophocladia lallemandii* estan sotmeses a una situació d'estrés ambiental (Box *et al.*, 2008a).

Ingesta de Caulerpa racemosa pel peix Spondyliosoma cantharus

La càntara, *Spondyliosoma cantharus*, és un spàrid molt comú en les aigües litorals de Mediterrani i de les Illes Balears. Aquest peix és omnívor i a àrees envaïdes per *Caulerpa racemosa*, s'ha evidenciat que la inclou dins la seva dieta (Fig. 4)(Box *et al.*, 2008e). Aquesta ingesta de *Caulerpa racemosa* es tradueix en increment de les

defenses antioxidants, més concretament del enzim CAT, SOD i GST. Aquest increment és suficient per evitar el dany oxidatiu (Box *et al.,* 2008d) i per tant la càntara es capaç d'alimentar-se i viure a zones envaïdes per *Caulerpa racemosa*.

Potencialitat de l'ús dels biomarcadors

La presència de algues invasores en el litoral Balear és pot estudiar amb metodologies clàssiques, com són les abundàncies, diversitat d'espècies, etc o mitjançant metodologies noves com són els enzims antioxidants i marcadors de peroxidació lipídica. Aquestes tècniques estan àmpliament validades dintre del camp de la fisiologia humana (Sureda *et al.*, 2005), animal (George i Chaturvedi, 2008; Souza *et al.,* 2008) i en medi marí per estudiar els efectes dels contaminats en organismes marins (Box *et al.,* 2007; Tsangaris *et al.*, 2007; Vlahogianni *et al.*, 2007).

En el present manuscrit es fa un recull de les publicacions que mostren la aplicabilitat dels biomarcadors en situacions d'invasió per macroalgues invasores en organismes tant diferents com són un peix, un gasteròpode, una alga, una planta superior i un bivalve. En tots els casos que s'han aplicat els biomarcadors d'estres, s'ha observat un increment de la seva presència en els casos que està present l'alga invasora i en alguns casos hi ha un increment dels valors de peroxidació lipídica. Aquesta activació enzimàtica és deguda a la presència de substàncies tòxiques que generen hidròxids lipídics que són eliminats pels enzims que fan servir glutation (oxidat o reduït) (GST, GR i GPx), una possible major producció de H_2O_2 en el cas de plantes i algues per defensar-se contra l'epifitisme (Choo *et al.*, 2004) (incrementa els enzims CAT i GR) i/o una alteració del metabolisme i disponibilitat d'oxigen (increment dels enzims CAT, SOD, GR i GPx).

Agraïments

Els present treball ha estat subvencionat pels projectes "*Macroalgas marinas invasoras en las islas Baleares: Evaluación de riesgos y efectos en comunidades bentónicas*" CTM2005-01434/MAR i CAULEXPAN (REN2002-00701).

Referències

Amade, P., Valls, R., Bouaiacha, R., Lemee, R. i Artaud, J. 1994. Methodes de dosage de la caulerpenyne produite par *Caulerpa taxifolia*, First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Nice.

Ballesteros, E., Grau, A.M. i Riera, F. 1999. *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh (Caulerpales, Chlorophyta) in Mallorca (Western Mediterranean). *Boll. Soc.Hist. Nat. Bal.* 42: 63-69.

Ballesteros, E., Cebrian, E. i Alcoverro, T. 2007. Mortality of shoots of *Posidonia oceanica* following meadow invasion by the red alga *Lophocladia lallemandii*. *Bot. Mar.*50: 8-13.

Box, A. 2008. Ecología de caulerpales: fauna y biomarcadores, Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados. Tesis Doctoral. Universidad de las Islas Baleares, Palma.

Box, A., Sureda, A. i Deudero, S. 2008a. Antioxidant response of the bivalve *Pinna nobilis* colonised by invasive red macroalgae *Lophocladia lallemandii*. *Comp. Biochem. Physiol. C* doi 10.1016.cbpc.2008.10.107.

Box, A., Deudero, S. i Pons, G.X. 2008b. Canvis en la composició d'espècies, diversitat i abundàncies de la fauna de mol·luscs asociada a *Posidonia oceanica* després de la sustitució per *Caulerpa racemosa*. *In:* Pons, G.X. (Ed.),

V Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Soc. Hist. Nat. Bal. Palma de Mallorca, 268-269.

Box, A., Deudero, S., Alós, J., Grau, A. Mª., Sureda, A., Terrados, J., Tejada, S., Blanco, A.,Cabanellas-Reboredo, M. i Mateu-Vicens, G. 2008e. Inclusion en la dieta de *Spondyliosoma cantharus* (L.) Sparidae de *Caulerpa racemosa* var *cylindracea*.. *In:* Pons, G.X. (Ed.), V Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Soc. Hist. Nat. Bal. Palma de Mallorca, 237-239.

Box, A., Sureda, A., Galgani, F., Pons, A. i Deudero, S. 2007. Assessment of environmental pollution at Balearic Islands applying oxidative stress biomarkers in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Comp. Biochem. Physiol.* 146 C, 531-539.

Box, A., Sureda, A., Terrados, J., Pons, A. i Deudero, S. 2008c. Antioxidant response and caulerpenyne production of the alien *Caulerpa taxifolia* (Vahl) epiphytized by the invasive algae *Lophocladia lallemandii* (Montagne). *J. Exp. Marine Biol. Ecol.* 363: 24-28.

Box, A., Sureda, A., Deudero, S., Terrados, J. i Marba, M. 2008d. Effects of invasive macroalgae over Mediterranean organisms: an antioxidant defenses system approach, World Conference on Marine Biodiversity, Valencia.

Francour, P. 1997. Fish assemblages of *Posidonia oceanica* beds at Port Cros (France, NW Mediterranean): Assessment of composition and long- term fluctuations by visual census. *Mar. Ecol.* 18: 157-173.

George, S. i Chaturvedi, P. 2008. Protective role of *Ocimum canum* plant extract in alcohol-induced oxidative stress in albino rats. *Br. J. Biomed. Sci.* 65(2), 80-85.

Gross, H., Goeger, D.E., Hills, P., Mooberry, S.L., Ballantine, D.L., Murray, T.F., Valeriote, F.A. i Gerwick, W.H. 2006. Lophocladines, bioactive alkaloids from the red alga *Lophocladia* sp. *J. Nat. Prod.* 69: 640-644.

Kennedy, H., Richardson, C.A., Duarte, C.M. i Kennedy, D.P. 2001. Diet and association of *Pontonia pinnophylax* occurring in *Pinna nobilis*: insights from stable isotope analysis. *J. Mar. Biol. Assoc. U K.* 81: 177-178.

Livingstone, D.R. 2001. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms. *Mar. Pollut. Bull.* 42: 656-666.

Meinesz, A. i Hesse, B. 1991. Introduction of the Tropical Alga *Caulerpa taxifolia* and its Invasion of the Northwestern Mediterranean. *Oceanol. Acta* 14: 415-426.

Meinesz, A. i Boudouresque, C.F. 1996. On the origin of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea. Comptes Rendus De L Academie Des Sciences Serie Iii-Sciences De La Vie-Life Sciences 319: 603-613.

Patzner, R. 1998. The invasion of *Lophocladia* (Rhodomelaceae, Lophotaliae) at the nothern coast of Ibiza (Western Mediterranean Sea). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears* 41: 75-80.

Pedrotti, M.L., Marchi, B. i Lemee, R. 1996. Effects of *Caulerpa taxifolia* secondary metabolites on the embryogenesis, larval development and metamorphosis of the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Oceanol. Acta* 19: 255-262.

Pesando, D., Lemee, R., Ferrua, C., Amade, P. i Girard, J.P. 1996. Effects of caulerpenyne, the major toxin from *Caulerpa taxifolia* on mechanisms related to sea urchin egg cleavage. *Aquat. Toxicol.* 35: 139-155.

Pesando, D., Huitorel, P., Dolcini, V., Amade, P. i Girard, J.P. 1998. Caulerpenyne interferes with microtubule-dependent events during the first mitotic cycle of sea urchin eggs. *Eur. J. Cell Biol.* 77: 19-26.

Pou, S., Ballesteros, E., Delgado, O., Grau, A.M., Riera, F. i Weitzmann, B. 1993. Sobre la presencia del alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh (Caulerpales, Chlorophyta) en aguas costeras de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears,* 36: 83-90.

Souza, M.A., Oliveira, M.S., Furian, A.F., Rambo, L.M., Ribeiro, L.R., Lima, F.D., Corte, L.C., Silva, L.F., Retamoso, L.T., Corte, C.L., Puntel, G.O., de Avila, D.S., Soares, F.A., Fighera, M.R., de Mello, C.F. i Royes, L.F. 2008. Swimming training prevents pentylenetetrazol-induced inhibition of Na, K-ATPase activity, seizures, and oxidative stress. Epilepsia.

Sureda, A., Box, A., Deudero, S. i Pons, A. 2008a. Reciprocal effects of caulerpenyne and

intense herbivorism on the antioxidant response of *Bittium reticulatum* and *Caulerpa taxifolia*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* doi :10.1016/j.ecoenv. 2007. 1012. 1007.

Sureda, A., Box, A., Terrados, J., Deudero, S. i Pons, A. 2008b. Antioxidant response of the seagrass *Posidonia oceanica* when epiphytized by the invasive macroalgae *Lophocladia lallemandii*. *Mar. Environ. Res.* 66: 359-363.

Sureda, A., Box, A., Ensenat, M., Alou, E., Tauler, P., Deudero, S. i Pons, A. 2006. Enzymatic antioxidant response of a labrid fish (*Coris julis*) liver to environmental caulerpenyne. *Comp. Biochem. Physiol* 144 C: 191-196.

Sureda, A., Tauler, P., Aguilo, A., Cases, N., Fuentespina, E., Cordova, A., Tur, J.A. i Pons, A. 2005. Relation between oxidative stress markers and antioxidant endogenous defences during exhaustive exercise. *Free Rad. Res.* 39: 1317-1324.

Tsangaris, C., Papathanasiou, E. i Cotou, E. 2007. Assessment of the impact of heavy metal pollution from a ferro-nickel smelting plant using biomarkers. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 66: 232-243.

Uchimura, M., Sandeaux, R. i Larroque, C. 1999. The enzymatic detoxifying system of a native Mediterranean Scorpio fish is affected by *Caulerpa taxifolia* in its environment. *Environ. Sci. Tech.* 33: 1671-1674.

Vlahogianni, T., Dassenakis, M., Scoullos, M.J. i Valavanidis, A. 2007. Integrated use of biomarkers (superoxide dismutase, catalase and lipid peroxidation) in mussels *Mytilus galloprovincialis* for assessing heavy metals' pollution in coastal areas from the Saronikos Gulf of Greece. *Mar. Pollut. Bull.* 54: 1361-1371.